

#6/priority
paper
11/2/02
P A T E N T

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:)
Huonker et al.)
Application No.:)
Filed: Herewith)
For: **LASER AMPLIFYING SYSTEM**)



BOX PATENT APPLICATION
Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

CERTIFICATE OF MAILING

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as Express Mail (No. EL 827616637 US) addressed to BOX PATENT APPLICATION, Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231 on August 2, 2001.

By: Michele Hollis
Michele Hollis

SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT(S)
PURSUANT TO 35 U.S.C. 119

Dear Sir:

Enclosed herewith is the certified copy of Applicants' corresponding German application:

German patent application no. 100 38 006.9
filed August 4, 2000

upon which Applicants' claim for priority is based.

Applicants respectfully request the Examiner to acknowledge receipt of this document.

Respectfully submitted,

Date: August 2, 2001
ATTORNEY DOCKET NO.: HOE-640

Barry R. Lipsitz
Barry R. Lipsitz
Attorney for Applicant(s)
Registration No. 28,637
755 Main Street, Building 8
Monroe, CT 06468
(203) 459-0200



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 100 38 006.9

Anmeldetag: 04. August 2000

Anmelder/Inhaber: HAAS-LASER GmbH + Co KG,
Schramberg/DE

Bezeichnung: Laserverstärkeranordnung

IPC: H 01 S, C 09 J, B 32 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 21. Juni 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Faust

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

Anmelder:
HAAS-LASER GmbH + Co. KG
Aichhalder Straße 39
78713 Schramberg

B E S C H R E I B U N G

Laserverstärkeranordnung

Die Erfindung betrifft eine Laserverstärkeranordnung mit einem zwei einander gegenüberliegende Flachseiten aufweisenden plattenförmigen Festkörper, der ein laseraktives Medium umfaßt, einem Kühlkörper mit einer Trägerfläche, welcher eine der Flachseiten des Festkörpers zugewandt angeordnet ist und mit welcher diese Flachseite zur Ableitung von Wärme thermisch gekoppelt ist.

Eine derartige Laserverstärkeranordnung ist beispielsweise aus den der EP 0 632 551 bekannt.

Bei einer derartigen Laserverstärkeranordnung wurde nicht genau spezifiziert, wie der Festkörper mit dem Kühlkörper verbunden werden soll.

Insbesondere ist bei der Verbindung zwischen Festkörper und Kühlkörper wesentlich, daß der mechanisch aufgrund seiner geringen Dicke sehr labile Festkörper die gewünschte Form behält und selbst bei Beibehaltung seiner Form möglichst geringen mechanischen Beanspruchungen beim Betrieb der Laserverstärkeranordnung ausgesetzt ist.

Diese Aufgabe wird bei einem Laserverstärkersystem der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Flachseite des Festkörpers mit einer Trägerfläche durch eine Klebstoffschicht mechanisch und thermisch gekoppelt ist,

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

welche aus einem Klebstoff hergestellt ist, der im wesentlichen volumeninvariant von einem flüssigen Zustand in einen festen, vernetzten Zustand übergeht und daß die Klebstoffschicht einen aktiven Klebstoffschichtbereich mit einem Wärmewiderstand von weniger als $10 \text{ K} \cdot \text{mm}^2/\text{W}$ aufweist.

Mit dieser Lösung ist es erreichbar, die mechanisch äußerst empfindlichen Festkörper fest und ohne nennenswerte mechanische Deformationen am Kühlkörper zu fixieren und dabei eine Wärmeableitung aus dem Festkörper zu erreichen, welche eine ausreichende Kühlung des Festkörpers über den Kühlkörper gewährleistet, ohne daß durch die Klebstoffschicht eine Drosselung des Wärmeflusses von dem Festkörper in den Kühlkörper erfolgt.

Dabei ist unter dem Begriff "im wesentlichen volumeninvariant" zu verstehen, daß der Klebstoff beim Übergang von seinem flüssigen Zustand in seinen festen, vernetzten Zustand eine Volumenänderung von weniger als 5%, noch besser weniger als 2% aufweist.

Ein besonders zweckmäßiges Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Laserverstärkeranordnung sieht vor, daß der Wärmewiderstand des aktiven Klebstoffschichtbereichs kleiner als $5 \text{ K} \cdot \text{mm}^2/\text{W}$, noch besser $2 \text{ K} \cdot \text{mm}^2/\text{W}$, ist.

Hinsichtlich der Ausdehnung des aktiven Klebstoffschichtbereichs relativ zur gesamten Klebstoffschicht wurden bislang keine näheren Aussagen gemacht. So könnte prinzipiell der aktive Klebstoffschichtbereich die gesamte Klebstoffschicht

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

umfassen. Vorzugsweise umfaßt der aktive Klebstoffschichtbereich jedoch nur einen Teilbereich der Klebstoffschicht.

Besonders günstig ist es dabei, wenn der aktive Klebstoffschichtbereich mindestens der Bereich der Klebstoffschicht ist, der an einen Volumenbereich des Festkörpers angrenzt, in welchem eine Pumpleistungsdichte des Pumplichtstrahlungsfeldes von ungefähr 80 % des Maximalwerts und mehr vorliegt.

D. h., daß vorzugsweise der aktive Klebstoffschichtbereich dazu dient, aus dem sehr stark gepumpten Volumenbereich des Festkörpers, nämlich dem mit 80 % der Pumpleistungsdichte und mehr gepumpten Bereich des Festkörpers, die Wärme abzuführen.

Noch vorteilhafter ist es, wenn der Klebstoffschichtbereich mindestens der Bereich der Klebstoffschicht ist, der an einen Volumenbereich des Festkörpers angrenzt, in welchem eine Pumpleistungsdichte des Pumplichtstrahlungsfeldes von ungefähr 70 %, noch besser ungefähr 60 %, des Maximalwerts und mehr vorliegt.

Darüber hinaus besteht eine weitere Möglichkeit, den aktiven Klebstoffschichtbereich dadurch zu definieren, daß der aktive Klebstoffschichtbereich mindestens der Bereich der Klebstoffschicht ist, welcher an den vom Pumplichtstrahlungsfeld durchsetzten Volumenbereich des Festkörpers angrenzt.

Diese Definition erfaßt insbesondere all die Fälle, in welchen das Pumplichtstrahlungsfeld über eine der Flachseiten des Festkörpers in diesen eingekoppelt ist.

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

Eine weitere vorteilhafte Lösung sieht vor, daß der aktive Klebstoffschichtbereich mindestens der Bereich der Klebstoffschicht ist, welcher an den von mindestens zwei sich schneidenden Pumplichtstrahlungsfeldern durchsetzten Volumenbereich des Festkörpers angrenzt.

Diese Definition des Volumenbereichs umfaßt einerseits die Fälle, in welchen mehrere Pumplichtstrahlungsfelder durch eine Flachseite des Festkörpers eingekoppelt werden, aber auch den Fall, daß mehrere Pumplichtstrahlungsfelder über eine Schmalseite des Festkörpers eingekoppelt werden und sich in einem zentralen Bereich des Festkörpers schneiden, wobei durch die sich schneidenden Pumplichtstrahlungsfelder der Volumenbereich definiert ist.

Um darüber hinaus beim Betrieb der Laserverstärkeranordnung eine ausreichend stabile Fixierung des Festkörpers an dem Kühlkörper zu erreichen, ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Klebstoffschicht eine Zugfestigkeit von größer als 1 N/mm^2 aufweist.

Noch besser ist es dabei, wenn die Klebstoffschicht eine Zugfestigkeit von größer als 5 N/mm^2 aufweist.

Darüber hinaus ist im Rahmen der erfindungsgemäßen Lösung weiter eine ausreichend hohe Scherfestigkeit der Klebstoffschicht notwendig. Besonders günstig ist es, wenn die Klebstoffschicht eine Scherfestigkeit von größer als $5 \cdot \text{N/mm}^2$ aufweist. Noch besser ist es, wenn die Klebstoffschicht eine Scherfestigkeit von größer als 25 N/mm^2 aufweist.

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

Da beim Betrieb der Laserverstärkeranordnung der Festkörper durch ein Pumplichtstrahlungsfeld optisch angeregt wird und somit auch thermisch aufheizt, ist auch eine thermische Aufheizung der Klebstoffschicht in Betracht zu ziehen.

Diese thermische Aufheizung der Klebstoffschicht führt bei vielen Klebstoffen zu einer thermisch bedingten Formvarianz.

Da es bei der erfindungsgemäßen Lösung erheblich auf die gleichbleibende optische Qualität der Anordnung und Form des Festkörpers ankommt, ist es im Rahmen der erfindungsgemäßen Lösung besonders vorteilhaft, wenn die Klebstoffschicht im festen, vernetzten Zustand im wesentlichen thermisch form-invariant ist.

Unter dem Begriff "im wesentlichen thermisch forminvariant" ist dabei zu verstehen, daß die Klebstoffschicht in dem für die erfindungsgemäße Laserverstärkeranordnung relevanten Temperaturbereich von ungefähr 270 bis ungefähr 360 Kelvin maximal eine maximal zulässige Formänderung des Festkörpers von 0,5 μm , noch besser 0,1 μm , aufweist.

Hinsichtlich der Art des Klebstoffs wurden bislang keine weiteren Angaben gemacht. So sieht ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel vor, daß der Klebstoff ein Zweikomponentenklebstoff ist, da dieser besonders geeignet ist, die vorstehend genannten Forderungen zu erfüllen.

Insbesondere ist ein erfindungsgemäß im wesentlichen volumen-invariantes Verhalten besonders einfach dann erreichbar, wenn

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

der Klebstoff stoffaustauschfrei vom flüssigen Zustand in den festen, vernetzten Zustand übergeht.

Unter dem Begriff "stoffaustauschfrei" ist dabei zu verstehen, daß keinerlei Austausch von Stoffen mit der Umgebung erfolgt, das heißt weder die Aufnahme von Stoffen, z. B. Wasserdampf, oder die Abgabe von Stoffen, z. B. Lösungsmitteln, oder Reaktionsprodukten, wie zum Beispiel Essigsäure, beim Aushärten erfolgt.

Eine besonders günstige Variante sieht vor, daß der Klebstoff ein durch Energiezufuhr mittels Bestrahlung aushärtender Klebstoff ist.

Eine derartige Energiezufuhr mittels Bestrahlung wäre beispielsweise auch die Energiezufuhr mittels Teilchenstrahlung oder elektromagnetischer Strahlung.

Besonders günstig ist es hierbei, wenn der Klebstoff durch Bestrahlung mit Licht aushärtet.

Eine besonders bevorzugte Variante sieht dabei vor, daß der Klebstoff durch Bestrahlung mit UV-Licht aushärtet.

Im Rahmen der bislang beschriebenen erfindungsgemäßen Lösung wurde im Zusammenhang mit der Klebstoffschicht lediglich erläutert, daß diese Klebstoff enthält.

Die Viskosität des Klebstoffes im nicht vernetzten Zustand wurde bislang nicht spezifiziert. Um besonders dünne Klebstoffschichten zu erreichen, ist vorzugsweise vorgesehen, daß

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

der Klebstoff im nicht vernetzten Zustand eine Viskosität von weniger als 1000 mPa · S aufweist.

Es besteht jedoch aber auch die Möglichkeit, die Eigenschaften des Klebstoffs noch dadurch zu verändern, daß diesem Füllstoffe zugegeben werden.

Dabei sieht ein besonders vorteilhaftes Ausführungsbeispiel vor, daß die Klebstoffschicht füllstofffrei ist, da die Verwendung eines Klebstoffs ohne Füllstoff einerseits die Viskosität des Klebstoffs so gering wie möglich halten läßt und andererseits dadurch bei fehlenden Füllstoffen die Dicke der Klebstoffschicht besonders gering gehalten werden kann.

Eine andere vorteilhafte Ausführungsform sieht jedoch vor, daß die Klebstoffschicht einen Füllstoff aufweist, ein derartiger Füllstoff hat den Vorteil, daß er die Möglichkeit schafft, den Wärmewiderstand der Klebstoffschicht zu verbessern, allerdings zumindest in manchen Fällen auf Kosten der erreichbaren minimalen Dicke der Klebstoffschicht und auf Kosten der Viskosität.

Ein anderer Füllstoff könnte beispielsweise Nanopartikel aufweisen, die den Vorteil bieten würden, daß sie eine relativ dünne Klebstoffschicht zulassen.

Eine andere Lösung sieht vor, daß der Füllstoff Füllkörper mit einer Größe im Mikrometerbereich aufweist.

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

Hinsichtlich der Art der Füllkörper ist es vorteilhaft, wenn der Füllstoff Füllkörper aus einem oder mehreren der Stoffe Bornitrid, Diamant, Silber, Kupfer und/oder Gold aufweist.

Hinsichtlich der Dicke der Klebstoffschicht wurden bislang keine näheren Angaben gemacht. So ist es insbesondere bei füllstofffreier Klebstoffschicht vorteilhaft, wenn der an den aktiven Volumenbereich angrenzende Klebstoffschichtbereich eine Dicke von weniger als $5\mu\text{m}$ aufweist. Noch besser ist es, wenn der an den aktiven Volumenbereich angrenzende Klebstoffschichtbereich eine Dicke von weniger als $2\mu\text{m}$, noch besser weniger als $1\mu\text{m}$, aufweist.

Andererseits besteht bei der Verwendung von Füllstoffen in der Klebstoffschicht die Möglichkeit, diese so auszuführen, daß der in den aktiven Volumenbereich angrenzende Klebstoffschichtbereich eine Dicke von weniger als $50\mu\text{m}$ aufweist, wobei auch in diesem Falle vorzugsweise die Dicke des Klebstoffschichtbereichs so dünn wie möglich gehalten wird, so daß beispielsweise im Fall von Nanopartikeln ebenfalls Dicken von wenigen Mikrometern angestrebt werden.

Hinsichtlich der Ausbildung der optischen Eigenschaften der Klebstoffschicht wurden bislang ebenfalls keine näheren Angaben gemacht. Prinzipiell könnte die Klebstoffschicht beliebig, also auch beispielsweise undurchsichtig sein. Besonders günstig ist es jedoch, wenn die Klebstoffschicht optisch transparent ist, um möglichst wenig negative Beeinflussung der optischen Eigenschaften des Festkörpers zu

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

erreichen, insbesondere eine negative Beeinflussung durch Absorption des Klebstoffs.

Hinsichtlich der Ausbildung der Klebstoffschicht selbst wurde bislang keine näheren Angaben gemacht. So sieht ein zweckmäßiges Ausführungsbeispiel vor, daß die Klebstoffschicht eine im wesentlichen gleichbleibende Dicke aufweist. In einem derartigen Fall sind die Auswirkungen von senkrecht zur Trägerfläche erfolgenden Volumenänderungen der Klebstoffschicht auf die optische Qualität des Festkörpers gering, da diese über die gesamte Ausdehnung der zweiten Flachseite im wesentlichen gleichmäßig erfolgen.



Eine andere vorteilhafte Lösung sieht vor, daß die Klebstoffschicht ausgehend von einem an ein Zentrum des aktiven Volumenbereichs angrenzenden zentralen Klebstoffschichtbereich in radialer Richtung von dem Zentrum ausgehend eine zunehmende Dicke aufweist. Diese Lösung hat den Vorteil, daß sich in einfacher Weise der Festkörper auf einen Klebstofftropfen aufsetzen und sich diese Form der Klebstoffschicht durch Aufdrücken des Festkörpers erreichen läßt, da damit aufgrund der angestrebten Form der Klebstoffschicht in einfacher Weise eine Verdrängung von Innen nach Außen und somit eine relativ dünne Ausbildung der Klebstoffschicht erreichbar ist.

Besonders zweckmäßig ist es dabei, wenn die Klebstoffschicht einen zu dem Zentrum des aktiven Volumenbereichs im wesentlichen radial symmetrischen Verlauf der Dicke aufweist.

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung sowie der zeichnerischen Darstellung einiger Ausführungsbeispiele.

In der Zeichnung zeigen:

- 
- Fig. 1 einen Längsschnitt durch ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Laserverstärkeranordnung;
- Fig. 2 einen vergrößerten ausschnittsweisen Schnitt ähnlich Fig. 1 im Bereich eines Festkörpers und Kühlkörpers;
- Fig. 3 einen Schnitt ähnlich Fig. 2 eines zweiten Ausführungsbeispiels;
- 
- Fig. 4 einen Schnitt ähnlich Fig. 2 dem zweiten Ausführungsbeispiel vor einem Aufsetzen des Festkörpers auf den Kühlkörper;
- Fig. 5 einen Schnitt ähnlich Fig. 4 nach einem Aufsetzen des Festkörpers auf einen Tropfen Klebstoff auf dem Kühlkörper;
- Fig. 6 eine Draufsicht in Richtung des Pfeils A in Fig. 5 mit Darstellung der sich aufgrund der variierenden Dicke der Klebstoffschicht ergebenden Newton'schen Ringe;

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

- Fig. 7 einen Schnitt ähnlich Fig. 5 bei im wesentlichen symmetrischer Ausbildung der Klebstoffschicht;
- Fig. 8 eine Darstellung ähnlich Fig. 6 bei den Verhältnissen gemäß Fig. 7;
- Fig. 9 einen Schnitt ähnlich Fig. 2 durch ein drittes Ausführungsbeispiel;
- Fig. 10 einen Schnitt ähnlich Fig. 3 durch ein viertes Ausführungsbeispiel;
- Fig. 11 eine nochmals vergrößerte Schnittdarstellung ähnlich Fig. 2 bei einem fünften Ausführungsbeispiel mit einem mit Füllkörpern gefüllten Klebstoff und
- Fig. 12 eine Draufsicht auf ein sechstes Ausführungsbeispiel.

Ein erstes Ausführungsbeispiel einer Laserverstärkeranordnung, dargestellt in Fig. 1, umfaßt einen plattenförmigen Festkörper 10, welcher mit einem laseraktiven Medium versehen ist.

Vorzugsweise ist der Festkörper aus einem der Wirtskristalle YAG, YVO_4 , Y_2O_3 , Sc_2O_3 , Lu_2O_3 , KGdWO_4 , KYWO_4 , YAP, YALO, GGG, GSGG, GSAG, LSB, GCOB, FAP, SFAP, YLF und zusätzlich mit Nd^{3+} , oder Yb^{3+} als laseraktivem Material dotiert.

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

Der Festkörper 10 ist dabei vorzugsweise scheibenförmig ausgebildet und weist eine erste Flachseite 12 und eine gegenüberliegende zweite Flachseite 14 auf, zwischen denen sich eine eine Umfangsseite darstellende Schmalseite 16 erstreckt.

Der Festkörper 10 ist ferner von einem Pumplichtstrahlungsfeld 20 durchsetzt, welches das laseraktive Medium im Festkörper 10 anregt, wobei das Pumplichtstrahlungsfeld 20 beispielsweise von allen Seiten des Festkörpers 10 in diesen eingekoppelt werden kann.

Vorzugsweise erfolgt die Einkopplung des Pumplichtstrahlungsfelds 20, so wie in Fig. 1 dargestellt, über die erste Flachseite 12, wobei das Pumplichtstrahlungsfeld 20 in einem Volumenbereich 22 das laseraktive Medium im Festkörper 10 optisch anregt.

Um das Pumplichtstrahlungsfeld 20 mehrfach hin- und herreflektieren zu können, ist der Festkörper 10 auf seiner zweiten Flachseite 14 mit einem Reflektor 24 für das Pumplichtstrahlungsfeld 20 versehen, so daß das Pumplichtstrahlungsfeld 20 über die erste Flachseite 12 in den Festkörper 10 eintritt und aufgrund der Reflexion am Reflektor 24 über die erste Flachseite 12 wieder austritt, vorzugsweise dabei durch externe Optiken wieder zurückreflektiert wird und wieder über die erste Flachseite 12 in den Festkörper 10 eintritt, am Reflektor 24 reflektiert wird und wieder über die erste Flachseite 12 austritt und dies gegebenenfalls mehrfach.

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

Durch diese Mehrfachreflexion läßt sich eine besonders effiziente Anregung des laseraktiven Mediums in dem Volumenbereich 22 erzeugen.

Der Volumenbereich 22, innerhalb von welchem durch das Pumplichtstrahlungsfeld 20 das laseraktive Medium im Festkörper 10 optisch angeregt wird, hat dabei eine Ausdehnung in Richtung der Flachseiten 12 oder 14, die in Fig. 1 mit d_p bezeichnet ist, wobei diese Ausdehnung je nach Art des Einfalls und der Reflexion des Pumplichtstrahlungsfelds 20 in unterschiedliche Richtungen unterschiedlich groß sein kann. Lediglich im Fall einer rotationssymmetrischen Ausbildung des Volumenbereichs 22 zu einer Mittelachse 26, welche senkrecht auf den Flachseiten 12 und 14 steht, ist die Ausdehnung d_p des Volumenbereichs 22 zu allen Seiten hin gleich groß.

Darüber hinaus wird der Festkörper 10 von einem Verstärkerstrahlungsfeld 30 durchsetzt, welches sich zwischen einem externen Reflektor 32 und einem Reflektor 34 erstreckt, welcher ebenfalls der zweiten Flachseite 14 zugeordnet ist.

Beispielsweise sieht eine vorteilhafte Lösung vor, daß die Reflektoren 24 und 34 zu einem einzigen Reflektor zusammengefaßt sind, welcher sowohl für das Pumplichtstrahlungsfeld 20 als auch für das Verstärkerstrahlungsfeld 30 reflektierend ist.

Es ist aber auch denkbar, zwei unterschiedliche Reflektorschichten auf der zweiten Flachseite 14 vorzusehen, beispielsweise eine unmittelbar auf der zweiten Flachseite 14 liegende Reflektorschicht 34 für das Verstärkerstrahlungsfeld

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

30 und eine auf der Reflektorschicht 34 liegende Reflektorschicht 24 für das Pumplichtstrahlungsfeld 20.

Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist das Verstärkerstrahlungsfeld 30 so geführt, daß es sich symmetrisch zur Mittelachse 26 ausbreitet. Dabei wird ein Volumenbereich 36 des Festkörpers 10 von dem Verstärkerstrahlungsfeld 30 durchsetzt, welcher kleiner aber auch größer sein kann als der Volumenbereich 22, welcher vom Pumplichtstrahlungsfeld 20 durchsetzt ist.

Der Volumenbereich 36 hat dabei eine Ausdehnung in Richtung der Flachseite 12 oder 14, die mit d_v bezeichnet ist und ebenfalls im Fall einer rotationssymmetrischen Ausbildung des Verstärkerstrahlungsfelds 30 zur Mittelachse 26 in Richtung der Flachseiten 12 und 14 gleich groß ist, in anderen Fällen unterschiedlich groß sein kann.

Der Festkörper 10 ist zur Kühlung auf einem als Ganzes mit 40 bezeichneten Kühlkörper angeordnet, welcher eine Trägerfläche 42 aufweist, die der zweiten Flachseite 14 zugewandt ist.

Auf der Trägerfläche 42 ist eine als Ganzes mit 44 bezeichnete Klebstoffschicht aufgetragen, welche den Festkörper 10 trägt, wobei der Festkörper 10 mit der zweiten Flachseite 14 der Trägerfläche 42 zugewandt ist und beispielsweise mit den mit der zweiten Flachseite 14 verbundenen Reflektoren 24 und 34 auf der Klebstoffschicht 44 aufliegt, so daß vorzugsweise über die gesamte Ausdehnung der zweiten Flachseite 14 quer zur Mittelachse 26 eine Wärmeleitung von der zweiten Flachseite 14 in Richtung quer zu dieser zur Trägerfläche 42 hin

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

erfolgt, wobei die Reflektoren 24 und 34 gleichzeitig ebenfalls die Wärme flächenhaft von der zweiten Flachseite 14 in die Klebstoffschicht 44 einleiten, die diese dann über die Trägerfläche 42 in den Kühlkörper 40 einleitet.

Da primär in dem von dem Teil des Pumplichtstrahlungsfelds 20 mit der größten Pumpleistungsschicht durchsetzten Teil 23 des Volumenbereichs 22 eine nennenswerte Erwärmung im Festkörper 10 eintritt, erfolgt vorzugsweise über einen an diesen Teil 23 des Volumenbereichs 22 angrenzenden aktiven Klebstoffschichtbereich 46 im wesentlichen die Ableitung der in dem Volumenbereich 22 durch das Pumplichtstrahlungsfeld 20 erzeugten Wärme auf den Kühlkörper 40.

Der aktive Klebstoffschichtbereich 46 ist vorzugsweise so zu wählen, daß er den gesamten, vom Pumplichtstrahlungsfeld 30 durchsetzten Teil 23 des Volumenbereichs 22 abdeckt, vorzugsweise jedoch auch noch den größeren, vom Pumplichtstrahlungsfeld 20 durchsetzten Volumenbereich 22.

Bei dem in Fig. 1 und 2 dargestellten Ausführungsbeispiel erstreckt sich die zweite Flachseite 14 in einer Fläche F1, welche eine Ebene darstellt und außerdem erstreckt sich auch die Trägerfläche 42 in einer Fläche F2, welche ebenfalls eine Ebene darstellt, so daß die Klebstoffschicht 44 über die gesamte Ausdehnung der zweiten Flachseite 14 eine Dicke D aufweist, die im wesentlichen konstant ist.

Vorzugsweise ist in diesem Fall bei einem ungefüllten Klebstoff vorgesehen, daß der Wärmewiderstand der Klebstoffschicht 44 senkrecht zur Trägerfläche 42 kleiner ist als

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

5 K · mm²/W. Noch besser ist es, wenn der Wärmewiderstand der Klebstoffschicht 44 kleiner ist als 2 K · mm²/W.

Da die Klebstoffschicht 44 über ihre gesamte Ausdehnung in Richtung der zweiten Flachseite 14 im wesentlichen gleich dick ist, ist die Dicke D und hiermit zwangsläufig auch der Wärmewiderstand des Klebstoffschichtbereichs 46, welcher sich in Richtung der zweiten Flachseite 14 zumindest über die Ausdehnung des vom Verstärkerstrahlungsfeld 30 durchsetzten Volumenbereich 36 erstreckt, vorzugsweise jedoch sich auch über die Ausdehnung des vom Pumplichtstrahlungsfeld 20 durchsetzten Volumenbereichs 22 erstreckt, entsprechend gewählt.

Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Laserverstärkeranordnung, dargestellt in Fig. 3, ist der Festkörper 10' so ausgebildet, daß dessen zweite Flachseite 14' eine Krümmung aufweist und somit in einer Fläche F1' liegt, welche beispielsweise einen Ausschnitt aus einer Kugelfläche darstellt.

Ferner ist die Trägerfläche 42, welche sich in der Fläche F2 erstreckt, als ebene Fläche ausgebildet, so daß sich insgesamt eine Klebstoffschicht 44' ergibt, die in dem Klebstoffschichtbereich 46' eine Dicke D_i aufweist, welche vorzugsweise bei einem ungefüllten Klebstoff kleiner 2 µm, noch besser kleiner 1 µm, ist, während die Dicke D der Klebstoffschicht 44' in radialer Richtung von der Mittelachse 26 ausgehend ansteigt und beispielsweise im Bereich der Schmalseite 16 eine Dicke D_A aufweist, welche größer ist als die Dicke D_i, beispielsweise das Doppelte der Dicke D_i oder mehr beträgt, wobei die Dicke D_A auch davon abhängt, inwieweit sich

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

der Festkörper 10' über den vom Verstärkerstrahlungsfeld 30 durchsetzten Volumenbereich 36 hinaus erstreckt.

Der Vorteil einer Klebstoffschicht 44' mit variabler Dicke D, insbesondere einer kontinuierlich von der Mittelachse 26 in radialer Richtung zunehmenden Dicke D, ist darin zu sehen, daß in vorteilhafter Weise ein Verkleben des Festkörpers 10 mit dem Kühlkörper 40 möglich ist, nämlich dadurch, daß auf die Trägerfläche 42 ein Tropfen 48 von Klebstoff aufgetragen wird und anschließend der Festkörper 10 mit seiner zweiten Flachseite 14 und den gegebenenfalls vorhandenen Reflektorschichten 24 und 34 auf den Tropfen 48 aufgesetzt wird, wobei sich in einfacher Weise der Klebstoff des Tropfens 48 radial nach außen verpressen läßt, um eine möglichst dünne Klebstoffschicht 44 zu erhalten, wie in Fig. 5 dargestellt ist.

Dabei besteht die Möglichkeit, die dünnste Stelle der Klebstoffschicht 44 mit der Dicke D_i , wie in Fig. 6 dargestellt, durch sogenannten Newton'sche Ringe 50 zu erkennen.

Ferner besteht die Möglichkeit, durch die Lage der Newton'schen Ringe 50 relativ zur durch die Schmalseite 16 vorgegebenen äußeren Berandung des Festkörpers 10 die Lage des Bereichs mit der geringsten Dicke D zu erkennen und den Festkörper 10 so auf den Kühlkörper 40 aufzusetzen, daß, wie in Fig. 7 und 8 dargestellt, die Newton'schen Ringe 50 ungefähr zentriert zur durch die Schmalseite 16 vorgegebenen Außenberandung des Festkörpers 10 liegen und folglich der aktive Klebstoffschichtbereich 46, welcher vorzugsweise symmetrisch zur Mittelachse 26 angeordnet ist, auch derjenige Bereich der Klebstoffschicht 44' ist, welcher die geringste

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

Dicke D_1 aufweist und unmittelbar an den Volumenbereich 36 angrenzt, der durch das Verstärkerstrahlungsfeld 30 durchsetzt ist oder noch besser auch an den Volumenbereich 22 angrenzt, der durch das Pumplichtstrahlungsfeld 20 durchsetzt ist.

Vorzugsweise ist dabei der Klebstoff ein Klebstoff, welcher durch Energiezufuhr aufgrund von Bestrahlung mit beispielsweise UV-Licht aushärtet, wobei die Bestrahlung mit UV-Licht durch den Festkörper 10 hindurch, das heißt über die erste Flachseite 12 in den Festkörper 10 einfallendes UV-Licht erfolgt, welches den Festkörper 10 durchsetzt, aus der zweiten Flachseite austritt und auch die Reflektoren 24 und 34 durchsetzt. Dies ist möglich, da die Wellenlänge des Pumplichtstrahlungsfeldes 20 und des Verstärkerstrahlungsfeldes 30 jeweils im Infraroten liegt, so daß die Reflektoren 24 und 34 für UV-Licht durchlässig gewählt werden können.

Es ist aber auch denkbar, die Klebstoffschicht 44' durch den Kühlkörper 40 hindurch zu bestrahlen, wenn dieser aus einem für das entsprechende Licht durchlässigen Material ist, beispielsweise aus einem CVD-Diamant.

Damit besteht in einfacher Art und Weise die Möglichkeit, einerseits, wie in Fig. 7 und 8 dargestellt, die korrekte Ausrichtung des Festkörpers 10 relativ zum Kühlkörper 40 über die Newton'schen Ringe 50 zu kontrollieren und einzustellen und dann in dieser Einstellung des Festkörpers 10 relativ zum Kühlkörper 40 den Klebstoff zur Bildung der Klebstoffschicht 44' auszuhärten.

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

Dabei ist es im Rahmen der erfindungsgemäßen Lösung besonders vorteilhaft, wenn der Klebstoff ohne Stoffaustausch mit der Umgebung, das heißt ohne Austausch von Wasserdampf, Lösungsmittel oder flüchtigen Chemikalien, wie zum Beispiel Essigsäure, aushärtet, da dann der Aushärtevorgang im wesentlichen volumeninvariant, das heißt mit einer Volumenveränderung von weniger als 5%, noch besser weniger als 2%, erfolgt, und die einmal erreichte Ausrichtung des Festkörpers 10 relativ zum Kühlkörper 40 während des Aushärtevorgangs im wesentlichen erhalten bleibt, so daß insbesondere keine Spannungen in Richtung parallel zur zweiten Flachseite 14 bei ausgehärtetem Klebstoff auf den Festkörper 10 wirken und somit verhindert wird, daß der Festkörper 10 aufgrund der in Richtung parallel zur zweiten Flachseite 14 wirkenden Spannungen unbrauchbar ist.

Der Klebstoff zur Bildung der Klebstoffschicht 44' ist dabei so gewählt, daß er im nicht vernetzten Zustand eine Viskosität von weniger als $1000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ aufweist, so daß das in Fig. 4 und 5 dargestellte Aufsetzen des Festkörpers auf den Tropfen 48 so erfolgen kann, daß das Fließen des Klebstoffs zum Erreichen einer möglichst dünnen Klebstoffschicht und zum Ausrichten des Festkörpers 10 relativ zum Kühlkörper 40 mit geringer Krafteinwirkung auf den Festkörper 10 erfolgen kann.

Ferner ist vorzugsweise vorgesehen, daß der ausgehärtete Klebstoff in der Klebstoffschicht 44' eine Zugfestigkeit von größer als 5 N/mm^2 aufweist.

Außerdem wird eine Scherfestigkeit der Klebstoffschicht 44' von größer als 5 N/mm^2 bevorzugt. Noch besser ist es, wenn die

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

Klebstoffschicht eine Scherfestigkeit von größer als 25N/mm^2 aufweist.

Sämtliche Ausführungen zu Eigenschaften des Klebstoffs und der Klebstoffschicht 44' gelten in gleicher Weise auch für den Klebstoff und die Klebstoffschicht 44 die im ersten Ausführungsbeispiel beschrieben wurden.

Ferner ist es besonders vorteilhaft, wenn der Klebstoff so gewählt ist, daß dieser im vernetzten Zustand bei Bildung der Klebstoffschicht 44' thermisch im wesentlichen forminvariant ist, das heißt eine Erwärmung der Klebstoffschicht 44' zu einer Volumen- und Formänderung von weniger als 2% führt, so daß auch die Aufwärmung der Klebstoffschicht 44' im Zuge des Abführens von Wärme aus dem Festkörper 10 beim Anregen des laseraktiven Mediums mittels des Pumplichtstrahlungsfelds 20 zu keiner Formänderung der Klebstoffschicht 44' und somit zu keiner Änderung der Form des Festkörpers 10 führt.

Dies ist insbesondere wesentlich, wenn die Klebstoffschicht 44', wie z. B. beim zweiten Ausführungsbeispiel, eine variable Dicke D aufweist, denn bei einer thermischen Forminstabilität der Klebstoffschicht 44' würde sich beim Erwärmen derselben ein Verändern der Krümmung der Fläche F1' einstellen, in welcher sich die zweite Flachseite 14 erstreckt, da davon auszugehen ist, daß sich die Trägerfläche 42 des Kühlkörpers 40 nicht verändert und somit die Fläche F₂ ihre ebene Form beibehält, wenn der Kühlkörper 40 aus üblichen, gut wärmeleitenden Materialien wie beispielsweise Metallen oder auch Diamant hergestellt ist.

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

Bei einem dritten Ausführungsbeispiel, dargestellt in Fig. 9, ist nicht nur die Fläche $F1'$ und somit die zweite Flachseite 14' des Festkörpers 10' gekrümmt, sondern auch die Trägerfläche 42', welche nunmehr in einer gekrümmten Fläche $F2'$ liegt.

Vorzugsweise sind die Krümmungsradien der Flächen $F1'$ und $F2'$ so gewählt, daß diese stets in konstantem Abstand zueinander verlaufen. Dies führt dazu, daß die Klebstoffschicht 44 zwischen dem Festkörper 10' und dem Kühlkörper 40' ähnlich wie beim ersten Ausführungsbeispiel im wesentlichen die konstante Dicke D aufweist, und zwar über ihre ganze Erstreckung in Richtung der zweiten Flachseite 14, allerdings gekrümmt ist.

Diese Lösung hat allerdings den Nachteil, daß die im wesentlichen gleiche Dicke D der Klebstoffschicht 44 nur dann erreicht ist, wenn die Dicke D der Differenz der Radien der Flächen $F1'$ und $F2'$ entspricht.

Bei einem vierten Ausführungsbeispiel, dargestellt in Fig. 10, sind die Flächen $F1'$ und $F2'$ beide ebenfalls gekrümmt, allerdings mit unterschiedlichen Radien, so daß die dabei entstehende Klebstoffschicht 44' in gleicher Weise wie beim zweiten Ausführungsbeispiel eine variable Dicke D aufweist und zwar eine variable Dicke D , die sich in radialer Richtung zur Mittelachse 26 vergrößert, so daß im wesentlichen die gleichen Verhältnisse erreichbar sind, wie beim zweiten Ausführungsbeispiel.

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

Hinsichtlich der übrigen Merkmale, insbesondere der Ausbildung der Klebstoffschicht 44 und 44' beim dritten und vierten Ausführungsbeispiel wird voll inhaltlich auf die Ausführungen zum zweiten und gegebenenfalls ersten Ausführungsbeispiel Bezug genommen.

Bei einem fünften Ausführungsbeispiel, dargestellt in Fig. 11, wird kein ungefüllter Klebstoff verwendet, sondern die Klebstoffschicht 44'' weist Füllkörper 52 auf, welche zwischen dem Klebstoffmaterial eingelagert sind und eine Ausdehnung von mehr als 2 μm , vorzugsweise bis zu 30 oder 40 μm aufweisen, so daß die minimal erreichbare Dicke D'' der Klebstoffschicht 44'' durch die etwa doppelte Größe der Füllkörper 52 limitiert ist.

Derartige Füllkörper sind beispielsweise Bornitrid, Diamant, Silber oder eventuell auch Cu oder Au, die alle zu einer guten Wärmeleitung beitragen, allerdings im Gegenzug dazu zu einer Vergrößerung der minimalen Dicke der Klebstoffschicht 44'' führen, so daß durch die Füllkörper eine Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit der Klebstoffschicht 44'' gegenüber einer Klebstoffschicht von 44 oder 44' schwer erreichbar ist.

Im übrigen wird hinsichtlich weiterer Merkmale des fünften Ausführungsbeispiels vollinhaltlich auf die voranstehenden Ausführungsbeispiele Bezug genommen.

Bei einem sechsten Ausführungsbeispiel, welches vom Aufbau des Festkörpers 10 und des Kühlkörpers 40 dem ersten Ausführungsbeispiel entspricht, ist im Gegensatz zum ersten Ausführungsbeispiel das Pumpen des Festkörpers 10 über zwei

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

Pumplichtstrahlungsfelder 20a und 20b vorgesehen, welche durch die Schmalseite 16 hindurch in den Festkörper 10 eintreten und sich in einem Volumenbereich 22' schneiden, so daß in diesem Volumenbereich 22' sich die Pumpleistungsdichte als Überlagerung der Pumplichtstrahlungsfelder 20a und 20b ergibt und somit eine höhere Pumpleistungsdichte vorliegt, als außerhalb des Volumenbereichs 22' (Fig. 12).

Im übrigen wird hinsichtlich der weiteren Merkmale des sechsten Ausführungsbeispiels vollinhaltlich auf das erste Ausführungsbeispiel Bezug genommen.

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Laserverstärkeranordnung mit einem zwei einander gegenüberliegende Flachseiten (12, 14) aufweisenden, plattenförmigen Festkörper (10), der ein laseraktives Medium umfaßt,
einem Kühlkörper (40) mit einer Trägerfläche (42),
welcher eine der Flachseiten (14) des Festkörpers (10) zugewandt angeordnet ist und mit welcher diese Flachseite (14) zur Ableitung von Wärme thermisch gekoppelt ist,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Flachseite (14) des Festkörpers (10) mit der Trägerfläche (42) durch eine Klebstoffschicht (44, 44', 44'') mechanisch und thermisch gekoppelt ist, welche aus einem Klebstoff hergestellt ist, der im wesentlichen volumeninvariant von einem flüssigen Zustand in einen festen, vernetzten Zustand übergeht und daß die Klebstoffschicht (44, 44', 44'') einen aktiven Klebstoffschichtbereich (46) mit einem Wärmewiderstand von weniger als $10 \text{ K} \cdot \text{mm}^2/\text{W}$ aufweist.

2. Laserverstärkeranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmewiderstand des aktiven Klebstoffschichtbereichs (46) kleiner als $5 \text{ K} \cdot \text{mm}^2/\text{W}$ ist.

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

3. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der aktive Klebstoffschichtbereich (46) mindestens der Bereich der Klebstoffschicht (44, 44', 44'') ist, der an einen Volumenbereich (23) des Festkörpers (10) angrenzt, in welchem eine Pumpleistungsdichte des Pumplichtstrahlungsfeldes (20) von ungefähr 80 % des Maximalwerts und mehr vorliegt.
4. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der aktive Klebstoffschichtbereich (46) mindestens der Bereich der Klebstoffschicht (44, 44', 44'') ist, welcher an den vom Pumplichtstrahlungsfeld (20) durchsetzten Volumenbereich (22) des Festkörpers (10) angrenzt.
5. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der aktive Klebstoffschichtbereich (46) mindestens der Bereich der Klebstoffschicht (44, 44', 44'') ist, welcher an den von mindestens zwei sich schneidenden Pumplichtstrahlungsfeldern (20a, 20b) durchsetzten Volumenbereich (23) des Festkörpers (10) angrenzt.
6. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Klebstoffschicht (44, 44', 44'') eine Zugfestigkeit von größer als 1 N/mm^2 aufweist.

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

7. Laserverstärkeranordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Klebstoffschicht (44, 44', 44'') eine Zugfestigkeit von größer als 5 N/mm^2 aufweist.
8. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Klebstoffschicht (44, 44', 44'') eine Scherfestigkeit von größer als 5 N/mm^2 aufweist.
9. Laserverstärkeranordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Klebstoffschicht (44, 44', 44'') eine Scherfestigkeit von größer als 25 N/mm^2 aufweist.
10. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Klebstoffschicht (44, 44', 44'') im festen vernetzten Zustand im wesentlichen thermisch forminvariant ist.
11. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Klebstoff ein Zweikomponentenklebstoff ist.
12. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Klebstoff stoffaustauschfrei vom flüssigen Zustand in den festen, vernetzten Zustand übergeht.
13. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Klebstoff ein durch Energiezufuhr mittels Bestrahlung aushärtender Klebstoff ist.

A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

14. Laserverstärkeranordnung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Klebstoff durch Bestrahlung mit Licht aushärtet.
15. Laserverstärkeranordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Klebstoff durch Bestrahlung mit UV-Licht aushärtet.
16. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Klebstoff im nicht vernetzten Zustand eine Viskosität von weniger als 1000 mPa · s aufweist.
17. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Klebstoffschicht (44, 44') füllstofffrei ist.
18. Laserverstärkeranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Klebstoffschicht (44''') einen Füllstoff aufweist.
19. Laserverstärkeranordnung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Füllstoff (52) Nanopartikel aufweist.
20. Laserverstärkeranordnung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Füllstoff (52) Füllkörper mit einer Größe im Mikrometerbereich aufweist.

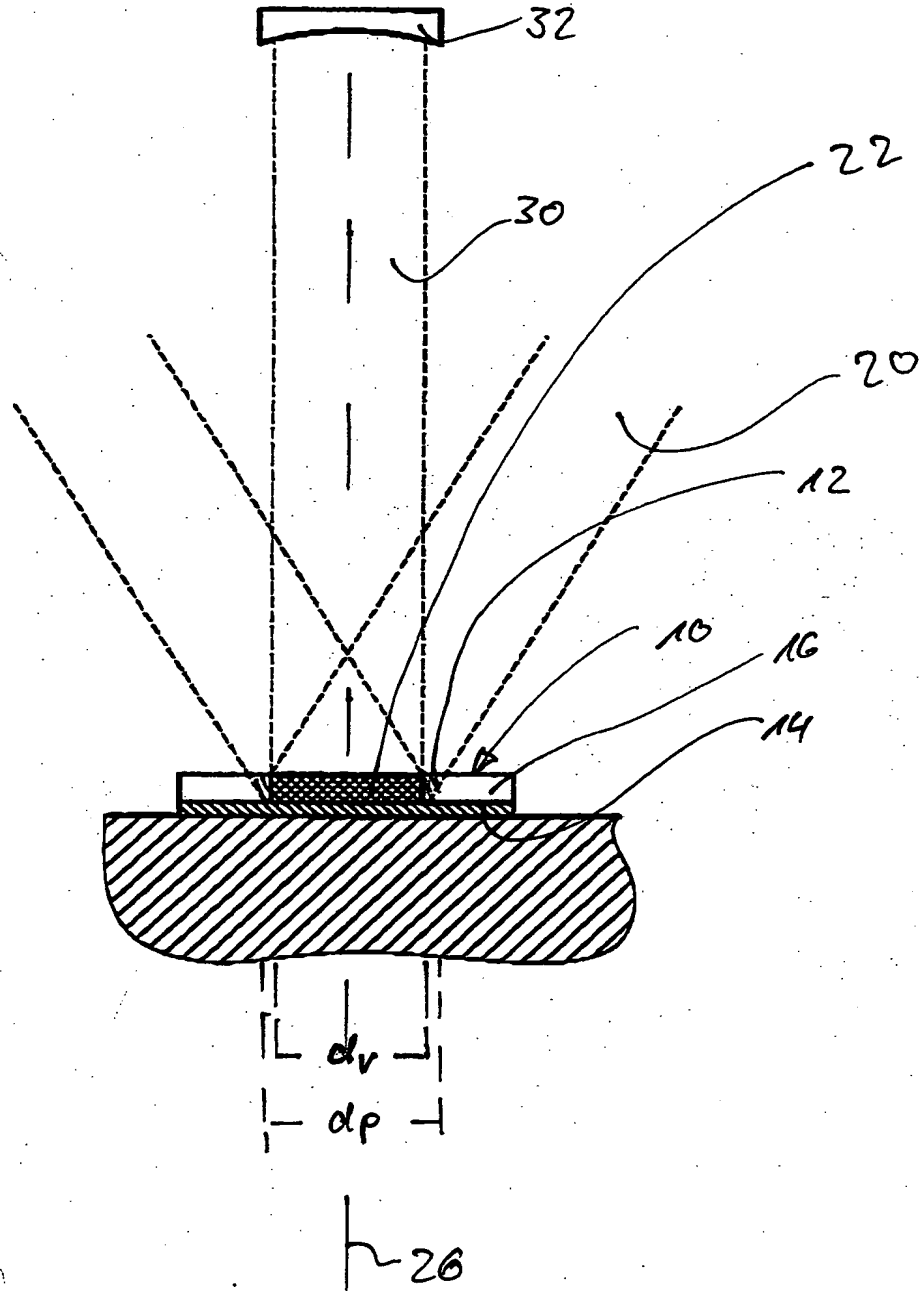
A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

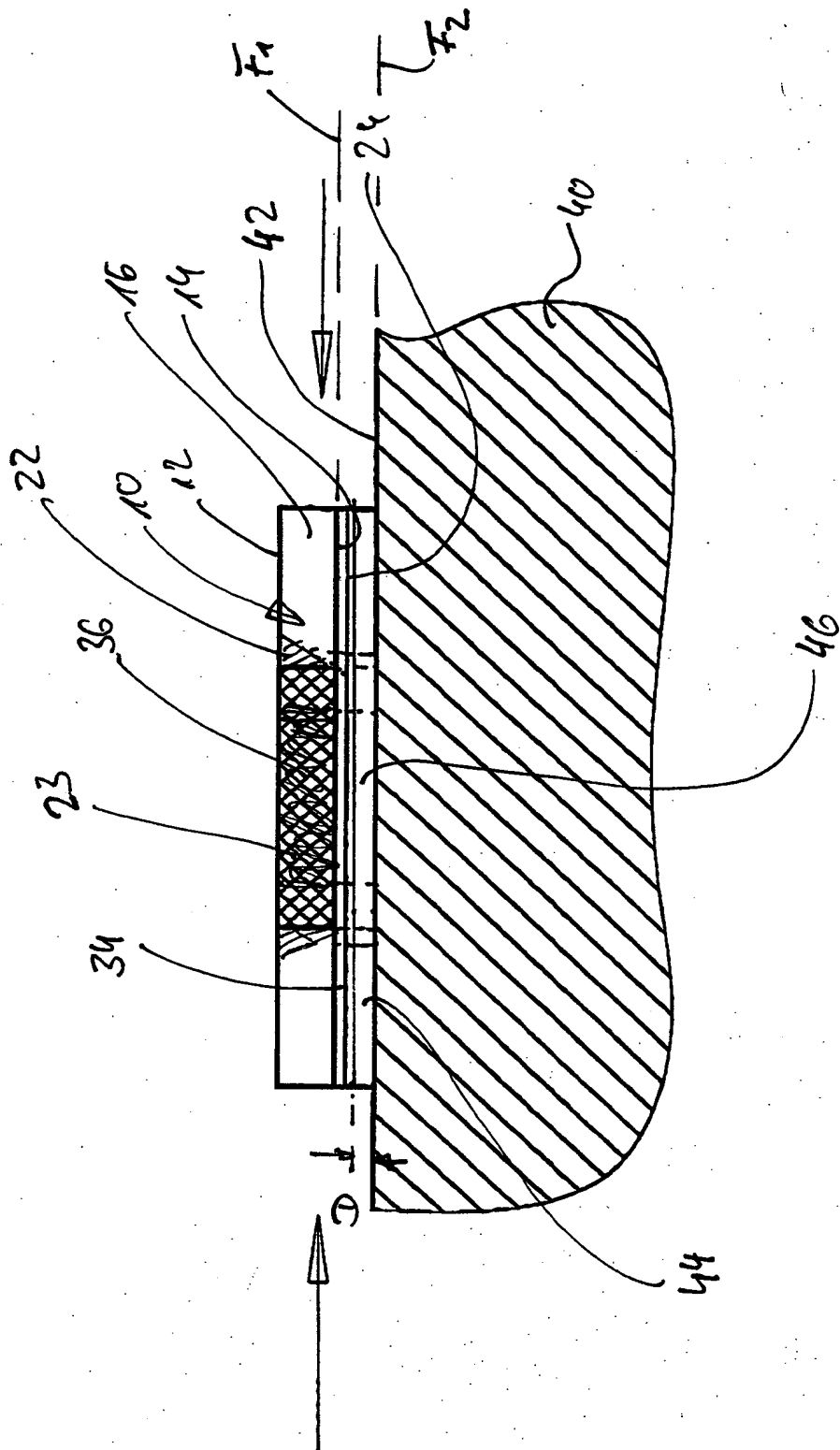
21. Laserverstärkeranordnung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Füllstoff Füllkörper (52) aus einem oder mehreren der Stoffe Bornitrid, Diamant, Silber, Kupfer und/oder Gold aufweist.
22. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der an den aktiven Volumenbereich (36) angrenzende Klebstoffschichtbereich (46) eine Dicke (D) von weniger als 5 μm aufweist.
23. Laserverstärkeranordnung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der an den aktiven Volumenbereich (36) angrenzende Klebstoffschichtbereich (46) eine Dicke (D) von weniger als 2 μm aufweist.
24. Laserverstärkeranordnung nach einem der Ansprüche 18 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß der an den aktiven Volumenbereich (36) angrenzende Klebstoffschichtbereich (46) eine Dicke von weniger als 50 μm aufweist.
25. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Klebstoffschicht (44, 44', 44'') optisch transparent ist.
26. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Klebstoffschicht (44) eine im wesentlichen gleichbleibende Dicke (D) aufweist.

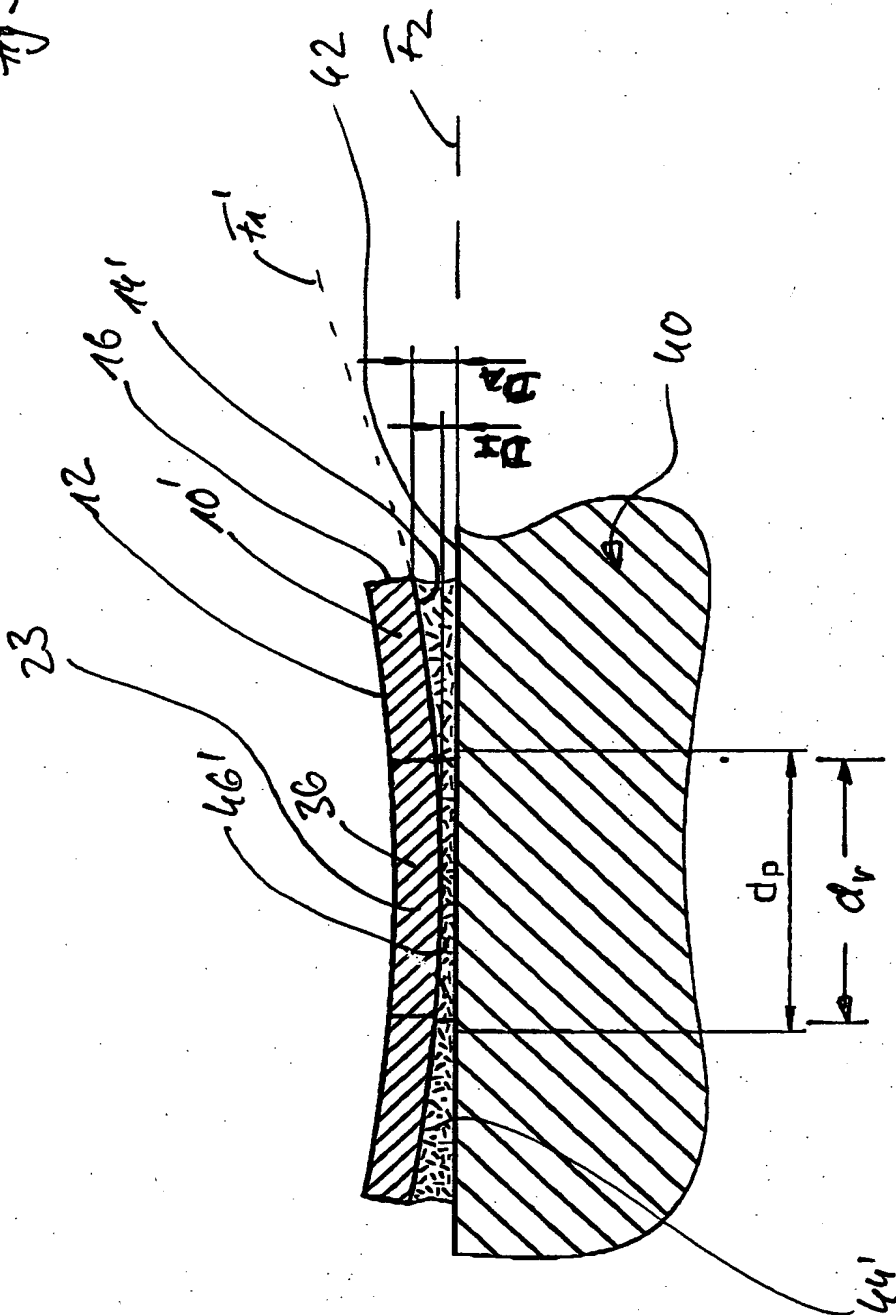
A 55 669 x
24. Juli 2000
x-241/239

27. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Klebstoffschicht (44') ausgehend von einem an ein Zentrum (26) des aktiven Volumenbereichs (36) angrenzenden zentralen Klebstoffschichtbereich in radialer Richtung zu dem Zentrum (26) eine zunehmende Dicke (D) aufweist.
28. Laserverstärkeranordnung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Klebstoffschicht (44') einen zu dem Zentrum (26) des aktiven Volumenbereichs (36) im wesentlichen radialsymmetrischen Verlauf der Dicke (D) aufweist.

Fig 1

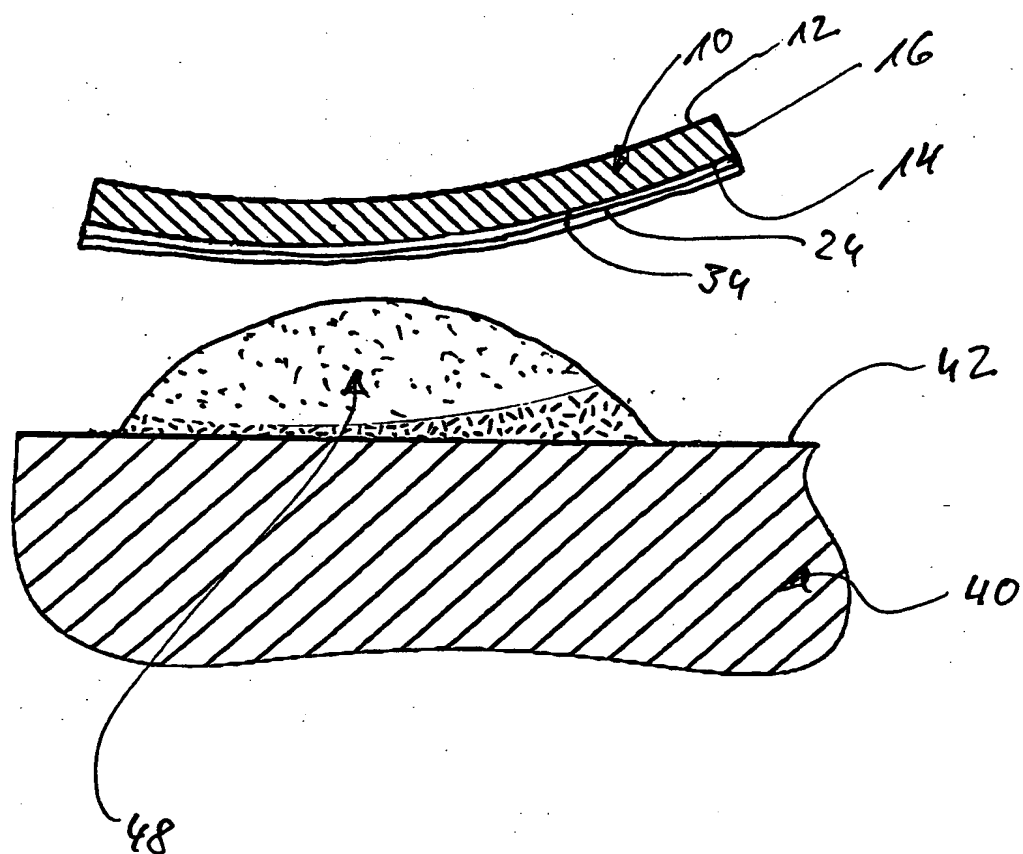


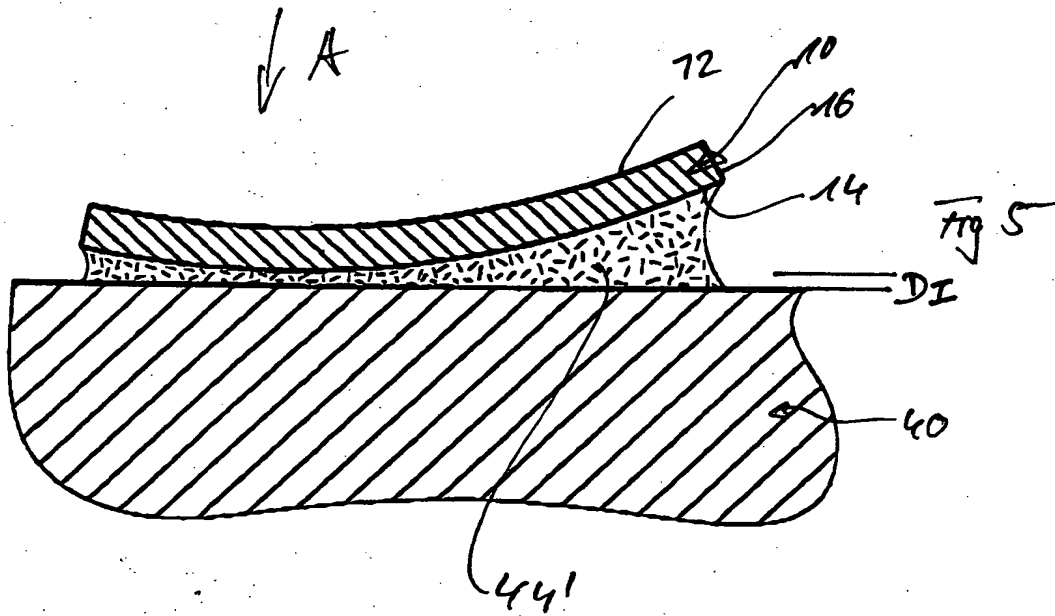
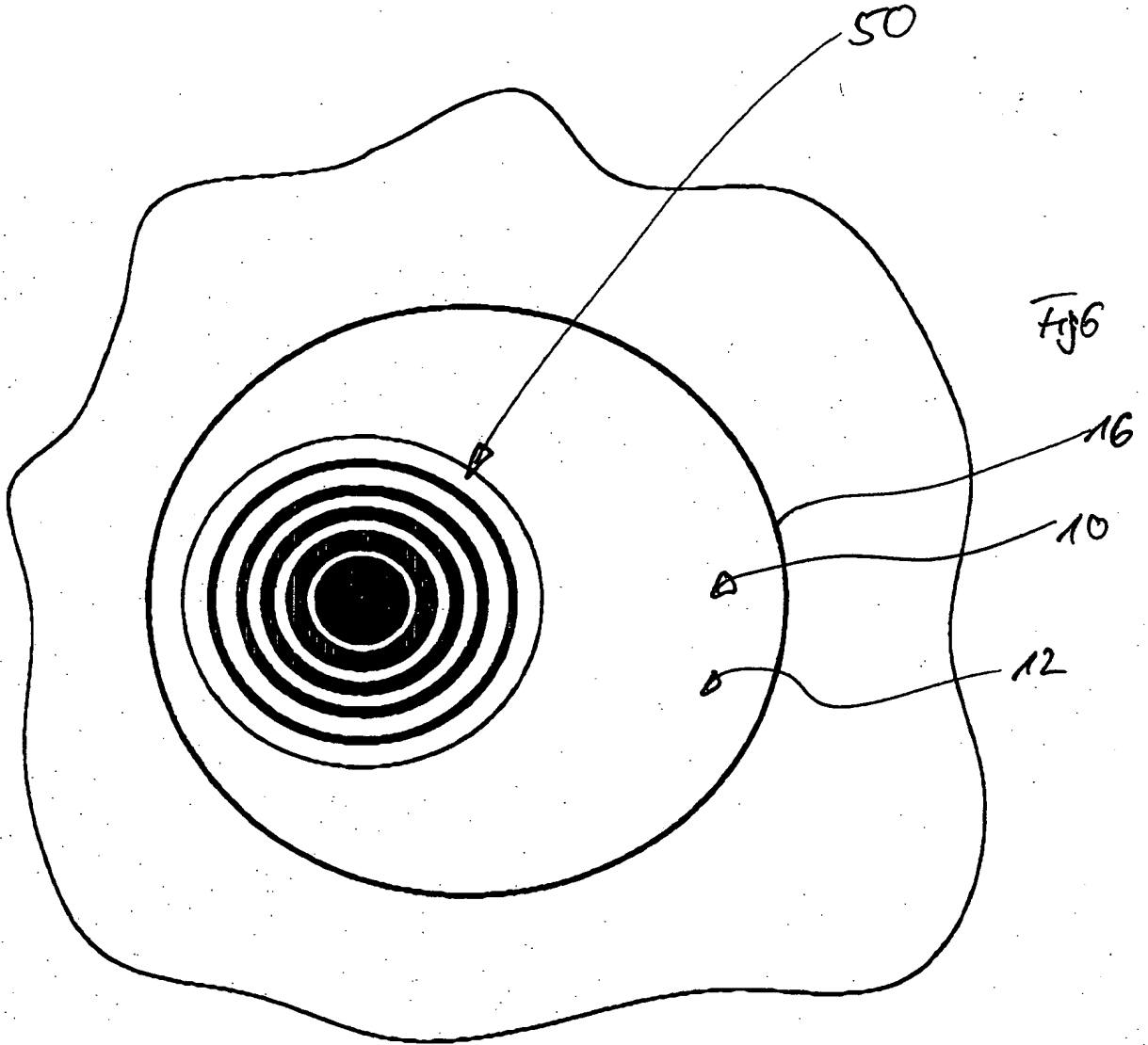


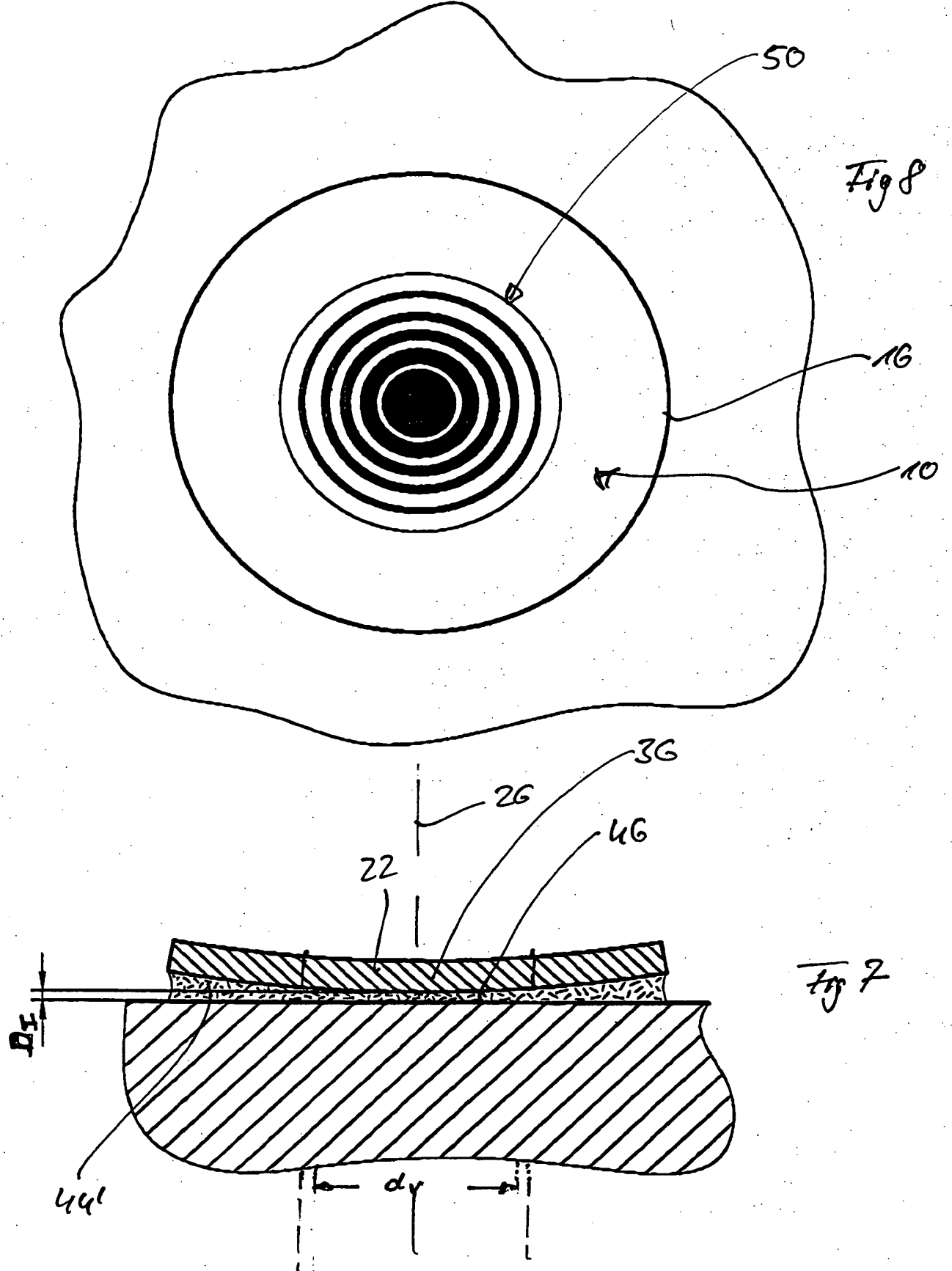


5/24

Fig 4







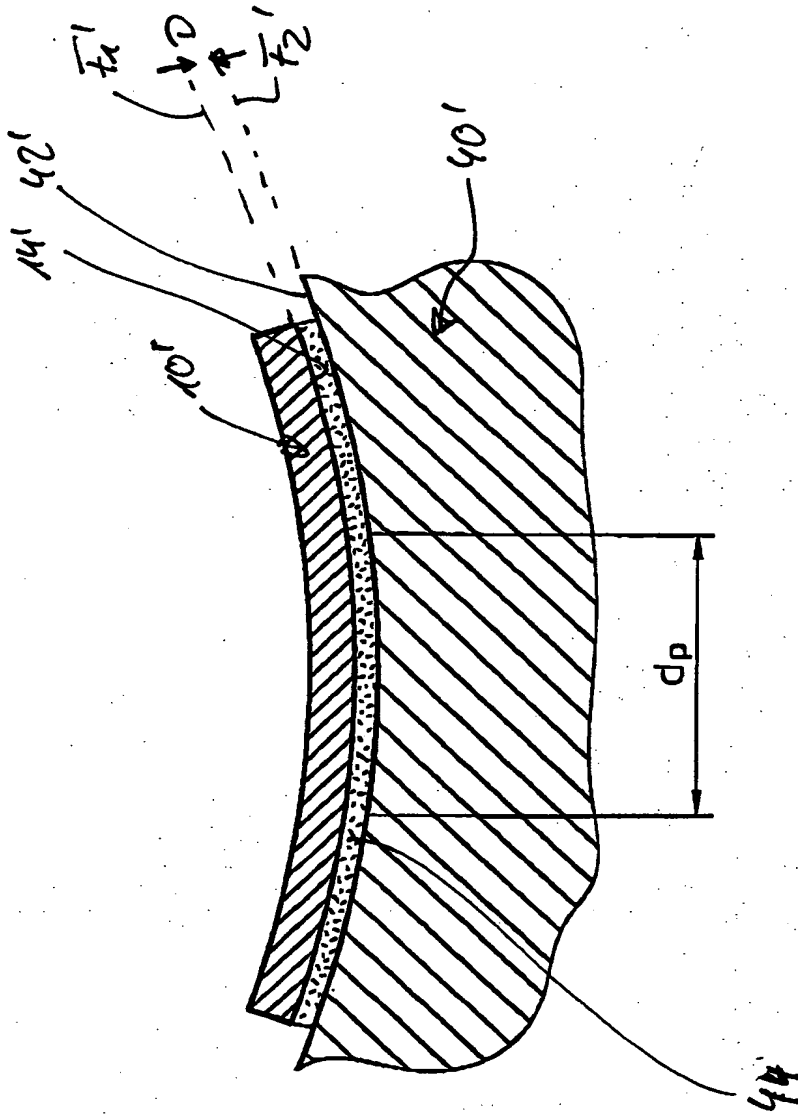


Fig 6

Fig 10

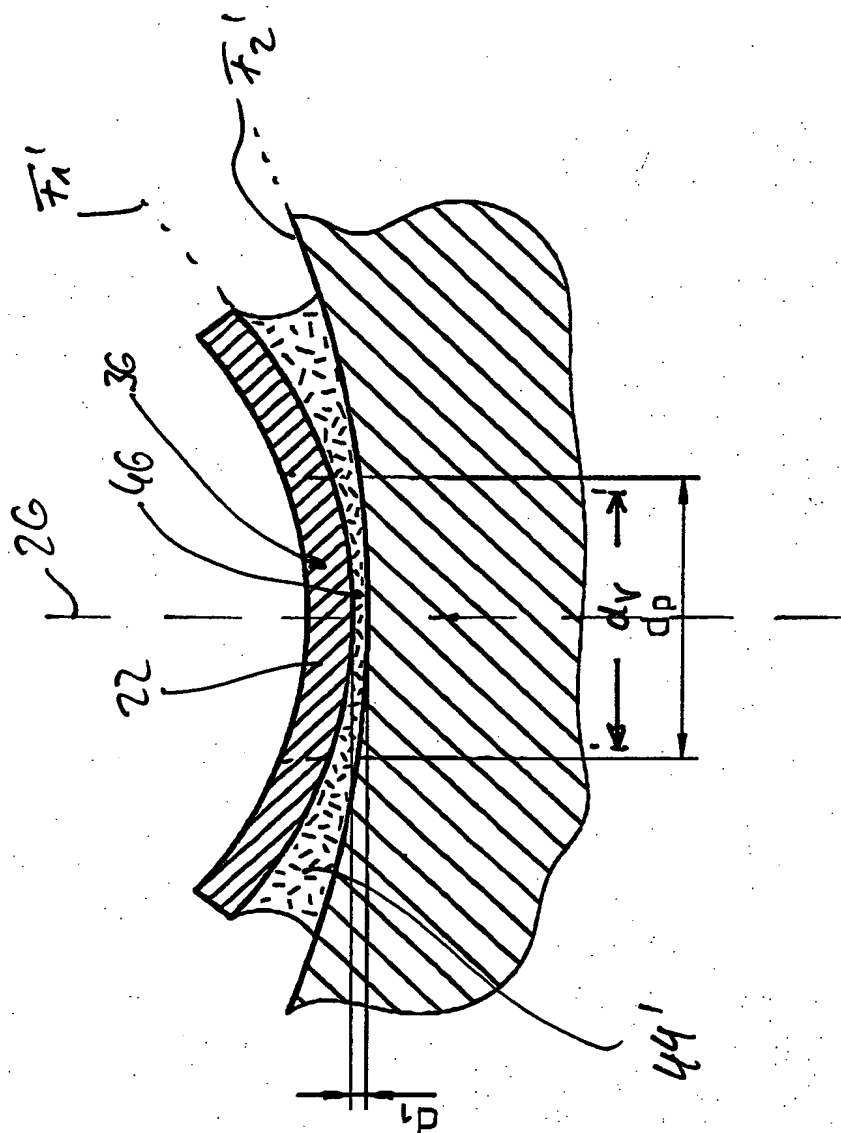


Fig 11

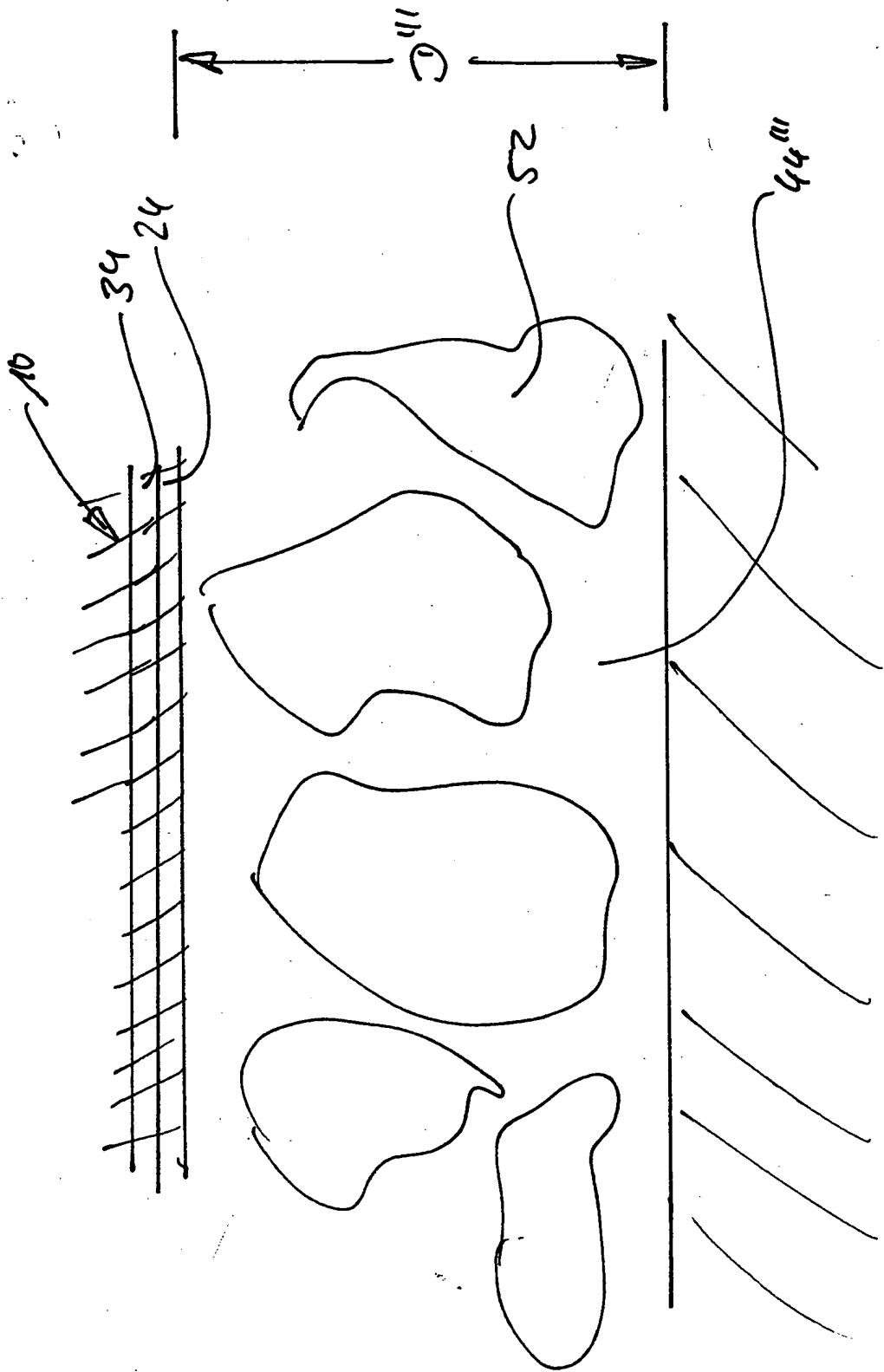


Fig 12

